

Cobre Panamá

Informe Semestral de Restauración Ecológica en el Proyecto Mina de Cobre Panamá

Fecha del Evento: Periodo de abril a septiembre de 2022

Fecha de Emisión	Revisión	Descripción	Elaborado por:		Revisado y Aprobado por:	
28/10/2022	0	Informe Técnico	Irving Vergara **Botánico de Medio Ambiente**		Blanca Araúz **Superintendente de Medio Ambiente**	



PROYECTO MINA DE COBRE PANAMA

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL (EsIA) CATEGORIA III

Informe Semestral de Restauración Ecológica

Compromisos de EsIA Aplicables	Periodo reportado	Elaborado por	Fecha de Emisión del Reporte
13230 13234 13237	Abril a septiembre 2022	MINERA PANAMA S.A.	28/10/2022

1. INTRODUCCIÓN

La restauración ecológica es una actividad deliberada que inicia o acelera la recuperación de un ecosistema con respecto a su salud, integridad y sostenibilidad. Las intervenciones que se emplean en la restauración varían mucho de un proyecto a otro, dependiendo de la extensión y la duración de las perturbaciones pasadas, de las condiciones culturales que han transformado el paisaje y de las oportunidades y limitaciones actuales. La meta final del proceso no es recuperar integralmente el estado anterior al disturbio, pero si garantizar que las funciones y los procesos ecológicos sean similares al ecosistema original a través del tiempo (SERI 2004).

El éxito de la restauración de un bosque tropical se mide en la recuperación de la biodiversidad, la biomasa y la productividad primaria, la materia orgánica del suelo, la capacidad de almacenamiento del agua y el regreso de las especies raras que son claves para reestablecer la estructura y las funciones del ecosistema (Elliott, Blakesley y Hardwick, 2013).

El proceso de restauración ecológica suele ser muy dinámico e involucra adquirir información necesaria para la toma de decisión y el mejoramiento de metodologías aplicadas. Por tal razón, es importante el establecimiento de parcelas experimentales para desarrollar modelos de restauración que nos permitan garantizar que las funciones y los procesos ecológicos sean similares al ecosistema original a través del tiempo; y de gran interés resulta dar seguimiento a los monitoreos de las especies plantadas en el sitio, que permitan evaluar su desarrollo y evolución en respuesta de las condiciones climáticas y la composición del suelo que se presentan en el lugar.

Minera Panamá S.A., tiene como parte de sus compromisos ambientales la restauración de áreas dentro de la huella del Proyecto, la cual será ejecutada gradualmente durante el período de vida activa de la mina (aprox. 30 años), a medida que se culmine el trabajo del proyecto en áreas específicas.

2. OBJETIVOS

- Cumplir con los compromisos establecidos en el EsIA Cat III, que aseguren el éxito de la restauración del Proyecto Mina de Cobre Panamá.

- Implementar el monitoreo (mortalidad, crecimiento y otros indicadores de las especies) de las parcelas establecidas.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Establecimiento y descripción de la parcela de restauración ecológica de 2.5, Botija (Código B-PRE-001)

A principios del año 2015 se realizó el establecimiento de la parcela de restauración 2.5, que se encuentra ubicada dentro de la huella de la Mina Cobre Panamá (se nombró así, ya que está localizada en lo que se llamaba botadero del Km 2.5). Esta parcela está ubicada a unos cuantos metros de la garita de entrada (Sierra 1) hacia el área del Campamento Dorado, entre 80̊ 48'58.9" Norte y 80̊ 39'11.2" Oeste (ver Anexos). La parcela mide una hectárea (100x100 metros) y fue demarcada con ayuda de una brújula, tubos PVC y cinta métrica para formar cada una de las subparcelas. La parcela se encuentra orientada hacia el Oeste, según el sistema de coordenadas geográficas, y está conformada por cinco fajas de 20x100 metros, cada una de las cuales contiene cinco cuadrantes de 20x20 metros, los cuales fueron numerados de acuerdo con la coordenada del vértice inferior izquierdo. En cada uno de estos cuadrantes se hicieron 16 subcuadrantes de 5x5 metros (Figura 01).

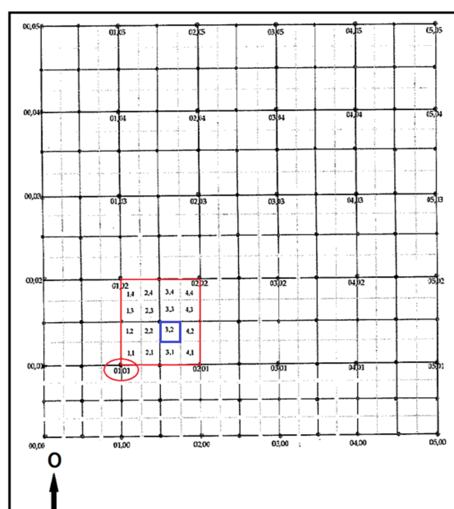


Figura 01. Modelo de la parcela 2.5 demarcada en cuadrantes 20x20 m (cuadro rojo) y 16 sub-cuadrantes de 5x5 m (cuadro azul). Cada cuadrante de 20x20 m se encuentra codificado con sus respectivos números en la parte inferior izquierda (círculo rojo).

El suelo de la parcela está compuesto de material de arcilla roja (saprolita) y rocas, con una inclinación aproximada de 45 grados (fue un depósito de material sobrante de la construcción del camino hacia el Dorado).

El sitio cuenta con barreras de contención y canales de desagüe para evitar la erosión del suelo, de igual manera, fue hidrosembrada con *Brachiaria decumbens* con el mismo propósito inmediatamente el botadero fue terminado. En el año 2014 se inició la restauración de este botadero realizando una primera plantación con especies nativas de *Inga* sp., *Erythrina* sp., *Ficus* sp., *Clusia* sp., y otras especies de las familias Lauraceae y Melastomataceae.

La vegetación que rodea a la parcela comprende mayormente especies heliófitas poco duraderas como *Croton billbergianus*, *Trema michranta*, *Ochroma pyramidale*, *Cecropia* sp., *Isertia haeckeana* e *Isertia laevis*; además de otras especies arbustivas de menor tamaño como *Piper aduncum* y *Piper auritum*. Otras heliófitas de mayor tamaño y más duraderas son *Trichospermum galeottii*, *Vismia macrophylla* y árboles de sombra como son *Vochysia guatemalensis*, *Vochysia ferruginea, Inga pezizifera,* entre otras. Todas estas especies que conforman la vegetación que rodea la parcela han sido responsables de la regeneración natural registrada en los monitoreos anuales.

Para la siembra se utilizó un distanciamiento específico de dos metros, esto, para dejar espacio para especies de crecimiento lento y de sotobosque que serán sembradas una vez las especies de crecimiento rápido estén establecidas.

Los individuos de diferentes especies fueron sembrados en línea perpendicular a la parcela, a una distancia de dos metros entre cada individuo. Cada línea de siembra también tiene una distancia de dos metros de separación entre ellas (Figura 02). En cada línea, se encuentran sembrados plantones de árboles y arbustos de forma homogénea.

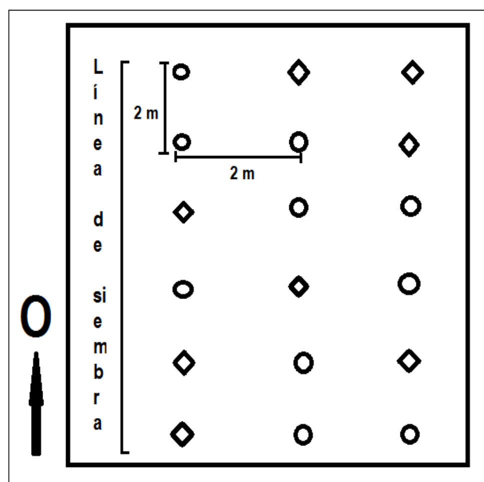


Figura 02. Diagrama de disposición de plantas sembradas en un cuadrante 20x20 metros en la parcela de restauración ecológica 2.5. Nótese la línea de siembra en forma vertical hacia el Oeste, según la disposición de la parcela. Los círculos representan las plántulas de árboles y los cuadros representan los arbustos, dispuestos en cada línea de siembra a dos metros de distancia.

3.2. Monitoreo

Para este periodo (abril – septiembre 2022), se realizó el monitoreo en la parcela de restauración 2.5 (después de ser demarcada en cuadrantes), para determinar variables como la sobrervivencia, salud, altura, diámetro del cuello de raíz y ancho de copa, de aquellas plantas que fueron sembradas desde el año 2015 y aquellas resembradas en 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021 y 2022, que reemplazaron a aquellas plantas que murieron después de ser sembradas en el año del levantamiento de la parcela en 2015. También se registraron las plantas de regeneración natural. El monitoreo de esta parcela se realiza anualmente.

Las especies que resultaron muertas al momento de realizar el monitoreo de este año, fueron reemplazadas por plantones de la misma especie, siempre que fue posible, (provenientes del vivero), salvo aquellos individuos de *Senna reticulata* que, para este periodo, fueron registrados muertos, se reemplazaron por la especie *Inga* sp. y de *Inga pezizifera*. También fueron reemplazados individuos muertos por especies de sombra como lo es *Taralea oppositifolia*, *Inga* sp., *Matayba* sp., entre otras, en áreas de la parcela donde ya se encuentran establecidos árboles de mayor tamaño que fueron sembrados desde el 2015, y que han generado sombra debido a la cobertura en sus copas. Las plantas muertas fueron contabilizadas y registrada en la base de datos para el posterior cálculo de sobrevivencia.

Las plantas sembradas desde 2015 y aquellas resembradas, fueron rotuladas utilizando placas de aluminio; marcando un código de seis letras en mayúsculas que comprende las tres primeras letras del género y las tres primeras letras de la especie. Además, se registró un código que comprende el número de la planta, el número del cuadrante 20x20 metros y el número del subcuadrante 5x5 metros donde está ubicada dicha planta (Figura 03).

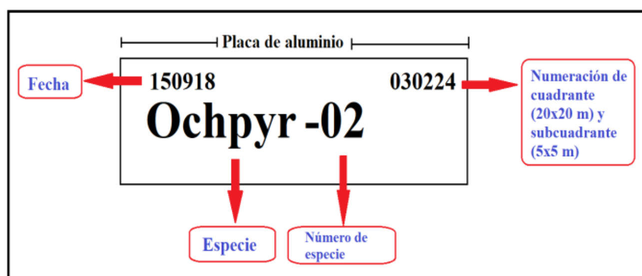


Figura 03. Rotulación de plantones utilizando placas de alumino. Se muestra un ejemplo de la especie *Ochroma pyramidale* (Ochpyr) sembrada y mapeada en la parcela de restauración 2.5 en el año 2015. El código a la derecha indica la ubicación de esta planta en la parcela: cuadrante 0302, en el subcuadrante 2.4.

3.3. Mantenimiento

Tanto la parcela de restauración B-PRE-001 (Parcela 2.5), B-PRE-40 (Pipeline Road Km 4+100), parcelas del Botadero Sur del Tajo Botija (B-PRE-36, B-PRE-37, B-PRE-38, B-PRE-41 y B-PRE-42), se les dio mantenimiento durante este periodo. El mantenimiento consistió en limpiar el remanente de hierba de la hidrosiembra, alrededor de los plantones (para evitar que la hierba no los "ahogue"), y posteriormente se realizó la aplicación de fertilizante químico granulado (12-24-12), fertilizante orgánico a base de ácido húmico y fúlvico, fertilizante biológico (Biobacter) y abono foliar. También son fumigadas contra los patógenos con fungicida e insecticida cada seis meses.

3.4. Parcela de restauración Pipeline Km 4+100 (Código B-PRE-40)

3.4.1. Descripción y establecimiento

La parcela fue creada producto de los trabajos realizados por las maquinarias en el sitio, como respuesta a un evento de vertido de relaves que se dio en el mes de julio de 2021, proveniente de la tubería de relaves que pasa por la vía del Pipeline Road, específicamente, en el Km 4+100. Esta se encuentra ubicada a orilla del camino, entre los 08°52´41.2" Norte y los 80°38´26.2" Oeste y mide aproximadamente 2,012 m^2, con una inclinación aprox. de 20 grados. Comprende cuatro barreras de contención contra la erosión que van dispuestas paralelas a la calle, hasta la parte más baja próximo al bosque, en donde el terreno es más plano.

El terreno de la parcela está compuesto por un suelo de material arcilloso de color rojo y fue estabilizado con barreras de contención e hidrosembrado con la hierba *Brachiaria decumbens* por parte del área de Servicios Ambientales, del departamento de Ambiente, como primera medida de mitigación para evitar la erosión.

La vegetación que bordea esta parcela está compuesta mayormente por especies pioneras (de rápido crecimiento), tales como *Cecropia* sp. (Guarumo), *Ochroma pyramidale* (Balso), *Piper auritum* (Hinojo), *Vismia macrophylla* (Sangrillo) y *Solanum* sp., además de especies de sombra como *Inga* sp., *Psychotria allenii*, *Aphelandra* sp. y *Ardisia* sp., helechos como *Alsophyla* sp., palmas como la *Socratea exorrhiza* (Jira) y *Astrocaryum alatum*, *Heliconia* sp. y *Calathea nodosa*, además de plantas cultivadas de *Musa* sp. (esta especie fue cultivada anteriormente por una comunidad establecida antes de iniciadas las actividades del proyecto minero).

La siembra fue realizada siguiendo una distribución en línea recta paralela a la carretera (ver figura 04), con las plantas distribuidas al azar en cada línea e intercaladas entre líneas, de manera que fueron mezcladas diferentes especies de árboles, arbustos, helechos, palmas y diferentes hierbas. La distancia de siembra entre cada planta fue de 1.5 metros.

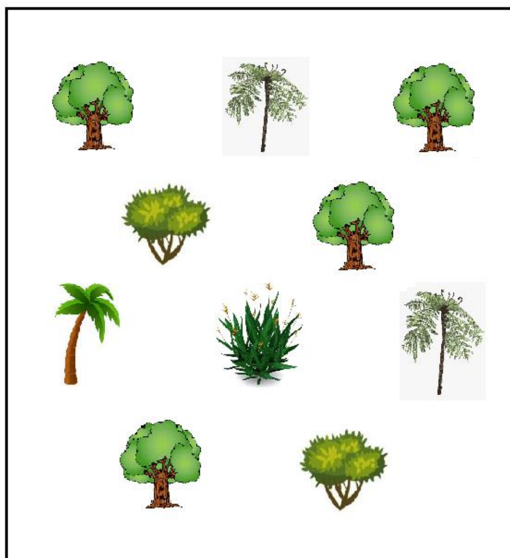


Figura 04. Disposición de siembra de plantas aplicada en la parcela B-PRE-40

Para la siembra fueron utilizadas plantas provenientes del vivero de restauración (en Valle Grande) y también fueron extraídas plantas directamente de la vegetación circundante a la parcela.

Las especies sembradas son plantas pioneras, pero también se incluyó especies de sombra, que han resultado tener buen rendimiento en la restauración de parcelas dentro del sitio mina. Además, de que son especies que se encuentran en la vegetación que bordea dicha parcela.
Los plantones sembrados que provinieron del vivero fueron inmediatamente fertilizados con abono completo (12-24-12) que fue aplicado en dos agujeros a cada lado de la planta en un radio de 10 cm del tallo.

Las plantas que fueron extraídas de la vegetación circundante, se colectaron con la mayor cantidad de sustrato posible en las raíces, que fueron remojadas y cubiertas con plástico para reducir la pérdida de humedad y evitar el estrés a la planta. Al momento de la siembra, fue añadido al hoyo un sustrato de suelo de aluvión combinado con suelo de la capa orgánica del

bosque y micorrizol: un compuesto biológico de suelo con esporas de hongos fijadores de nutrientes.

3.4.2. Monitoreo

Dentro de la parcela se encuentran establecidos dos cuadrantes de 20x20 metros, cada uno de los cuales están subdivididos en 16 subcuadrantes de 5x5 metros. Anteriormente, en el 2021 se hizo el levantamiento de la información de las plantas: mapeo y medida de la altura, diámetro de cuello de raíz y ancho de copa. En enero de 2022 se realizó el monitoreo (después de haberse realizado el levantamiento de la parcela) con el fin de dar seguimiento al proceso de restauración en el área y evaluar el crecimiento y sobrevivencia de las plantas. Para este periodo se realizó un segundo monitoreo semestral.

Las plantas que resultaron muertas en la parcela que provenían del vivero, para este monitoreo, fueron reemplazadas con plantones del vivero de la misma especie, de igual forma, las que resultaron muertas que provenían de la vegetación, también fueron reemplazadas con plantas de la misma especie que nuevamente fueron extraídas de la vegetación circundante.

Las plantas fueron sembradas utilizando compostaje a base de suelo de saprolita, cascarilla de arroz, tierra negra y micorrizol en una proporción de 2:1:1:0.2 (saprolita: cascarilla de arroz: tierra negra: micorrizol).

Las plantas sobrevivientes fueron fertilizadas utilizando fertilizante líquido orgánico (biobacter).

3.5. Ensayos de sobrevivencia y crecimiento de plantas, aplicando diferentes fertilizantes

Para este periodo, fueron realizados ensayos con 4 tipos de fertilizantes aplicados en 5 especies nativas producidas en el vivero, en la parcela del Botadero Sur del Tajo Botija (código B-PRE-37). El sitio donde se llevaron a cabo los ensayos corresponde un talud en la parte superior de la parcela, específicamente, en la pendiente con tiene una inclinación aproximada de 45 ° (Figura 05). Dicho sitio del ensayo se encuentra ubicado entre los 08°49’43.3” Norte y los 80°38’47.4” Oeste y cuenta con una superficie total aproximada de 2,400 m^2 (Figura 06).

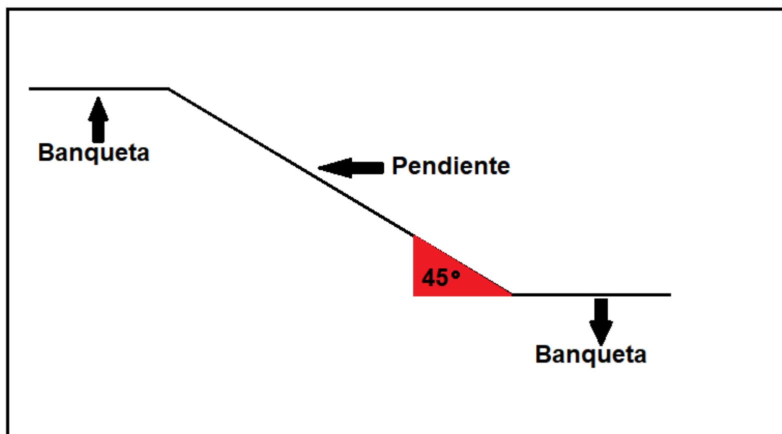


Figura 05. Esquema representativo de un talud en el Botadero Sur del Tajo Botija. Observe el ángulo de inclinación de la pendiente (triángulo rojo) que es de 45 °.

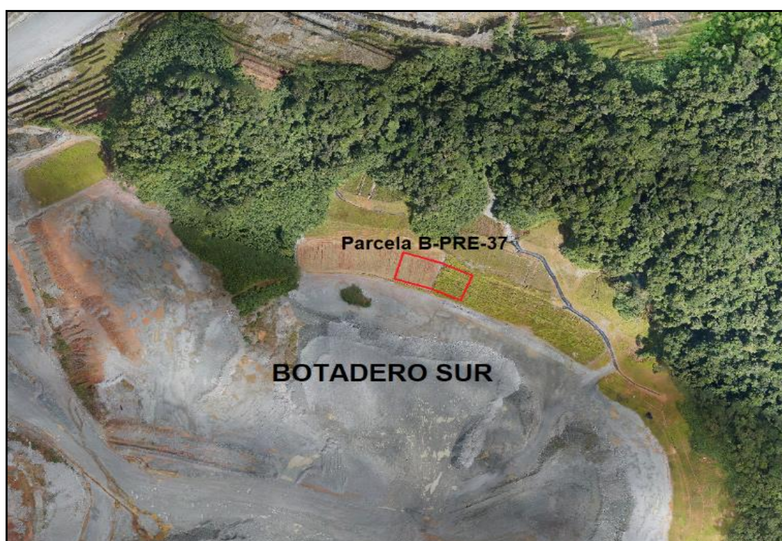


Figura 06. Mapa de ubicación de ensayos con fertilizantes en la parcela B-PRE-37. El recuadro rojo indica la parcela donde se disponen los ensayos en la parte de la pendiente del talud superior de la parcela.

3.5.1 Selección de especies nativas

Para los ensayos realizados, fueron seleccionadas cinco (5) especies nativas para cada tratamiento. De estas, cuatro (4) son especies pioneras o heliófilas (de rápido crecimiento), ya que son las primeras especies en aparecer en el proceso de sucesión secundaria. Estas especies son: *Piper aduncum, Bellucia pentamera*, *Isertia laevis*, *Muntingia calabura,* y una (1) corresponde a una especie de sombra (de bosque), que ha dado buenos resultados de

sobrevivencia en las parcelas de restauración, como lo es la *Inga* sp. Todas estas especies son producidas en el vivero de Valle Grande y provienen de colectas de plantones en campo o de la germinación de semillas en el vivero.

3.5.2 Definición de los tratamientos

Se consideraron tres tratamientos con fertilizantes a base de sustratos con compost (suelo mezclado con abono orgánico), y un tratamiento con un fertilizante químico en forma de pastilla o pellet, que fueron a su vez comparados con el testigo (Control). Estos tratamientos fueron aplicados al momento de la siembra de cada plantón. Estos tratamientos son los siguientes:

Control: suelo de saprolita (sin la aplicación de fertilizantes).

Tratamiento 1: compostaje a base de suelo de aluvión (suelo que proviene del río, compuesto de arcilla y arena) mezclado con abono orgánico de gallinaza.

Tratamiento 2: aplicación de abono orgánico de tierra negra.

Tratamiento 3: suelo de aluvión con fertilizante orgánico a base de ácido húmico y ácido fúlvico (leonardita granulada).

Tratamiento 4: aplicación de fertilizante en pastillas.

3.5.3 Preparación compostaje y proporciones de fertilizantes

Los compostajes fueron preparados según el procedimiento siguiente:

- Se cernió el suelo de aluvión
- Se preparó en una mochila de fumigación de 20 Litros una solución de 135 mililitros de nematicida en 20 Litros de agua.
- Se humedeció el suelo antes de aplicar la solución de nematicida.
- Se aplicó la solución de nematicida, uniformemente, con el sistema de nebulización de la boquilla de la mochila de fumigación.
- Se Volteó el sustrato para mezclar homogéneamente la solución de nematicida con el sustrato y se dejó en reposo por 1 día.
- Por último, se preparó el compostaje, mezclando el suelo de aluvión con el abono orgánico, según las proporciones descritas en la tabla 01.

Tabla 01. Proporciones de fertilizantes a utilizar para cada tratamiento y aplicación en la siembra en la parcela

Tratamiento	Cantidad de suelo de aluvión (Libras)	Cantidad de abono orgánico (Libras)	Cantidad de fertilizante aplicado a cada plantón en la siembra (Libras)
Compostaje de gallinaza	164	50	14
Compostaje de tierra negra	------	14*	14
Leonardita	164	5	14
Fertilizante químico	------	------	3 pastillas

* Este tratamiento no requirió ser mezclado con suelo de aluvión, se aplicó directo al plantón.

3.5.4 Disposición de siembra de plantones en los tratamientos

Cada tratamiento y el control, fueron establecidos dentro de cuadrantes de 5x10 m, donde los plantones se sembraron a una distancia de 2 metros en una línea horizontal. Cada línea horizontal estaba separada una de la otra verticalmente por 2 metros de distancia (Figura 07). El tamaño del hoyo fue de 30 cm de ancho por 40 cm de profundidad. Seguido, los individuos de cada especie fueron sembrados aplicando en el fondo del hoyo y alrededor de cada sistema radicular del plantón los sustratos con los diferentes compostajes según las cantidades descritas en la tabla 01, y en el caso del fertilizante en pastillas fueron añadidas 3 pastillas por cada plantón (ver en Anexos); que fueron colocadas dentro del hoyo: 2 a cada lado de la base del plantón a 8 cm de distancia del sistema radicular y otra al fondo del mismo.

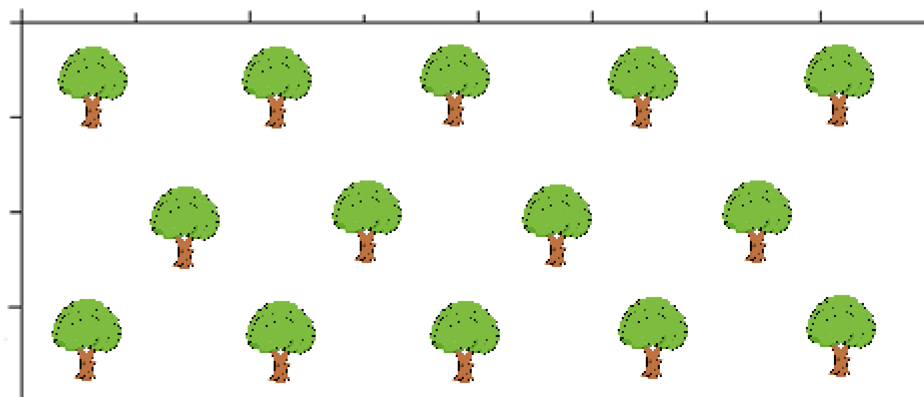


Figura 07. Diagrama de disposición de siembra para cada tratamiento en el cuadrante de 5x10 metros

Las 5 especies seleccionadas se sembraron con una disposición específica dependiendo de la capacidad de carga de cada especie, ya que, de esta forma se evita que la planta pueda caerse por efecto de la gravedad al estar establecida en un terreno inclinado. De esta manera, fueron dispuestas las especies siguiendo el orden desde la parte superior del talud hacia la parte más baja, como es: *Piper aduncum*, *Muntinjia calabura, Isertia laevis, Bellucia pentamera* y por último la *Inga* sp.

Seguido de la siembra, se procedió a realizar el levantamiento de la información de las plantas donde se tomaron medidas como de altura, diámetro de cuello de raíz y ancho de copa, además de la sobrevivencia (ver en Anexos). Luego de 2 meses después de haberse realizado la siembra, se hizo el primer monitoreo de crecimiento y sobrevivencia de las plantas para cada tratamiento. Los ensayos sarán monitoreados anualmente.

3.6. Restauración de nuevas áreas en el Sitio Mina

Se realizaron actividades de restauración en un área ubicada en el Tajo Botija, específicamente, el área del Botadero Sur (código B-PRE-43). El área se encuentra entre los 08°49´09.9¨ Norte y los 80°38´54.8¨ Oeste y consiste en un terreno inclinado de aprox. 20 grados, que fue hidrosembrado con *Brachiaria decumbens*, de igual forma, cuenta con canales y barreras de contención para controlar la erosión del suelo. El suelo predominante en esta área es el arcilloso rojo combinado con rocas, y la vegetación aledaña comprende

principalmente, especies pioneras como *Cecropia* sp., *Isertia laevis*, *Ochroma pyramidale*, *Trema michranta*, *Trichospermum galeottii*, *Solanum* sp., *Alsophyla* sp., entre otras.

Para esta área, se realizó la siembra de plantas extraídas directamente de la vegetación secundaria remanente que cercana a dicha área. Antes de realizarse la siembra de las plantas, se realizó la limpieza de la hierba (*Brachiaria decumbens*) alrededor del área (en un radio de 1 m) con la ayuda de azadones (ver en Anexos).

Se colectaron las plantas con un tamaño aproximado de 1 m, con el cuidado de no causar daño al sistema radicular, extrayendo la mayor cantidad de suelo posible alrededor de las raíces. Las raíces fueron remojadas con agua y cubiertas con un plástico para evitar en lo posible la deshidratación de las mismas. Seguidamente, las plantas se colocadas en una canasta, para facilitar el transporte.

Las plantas fueron dispuestas en la parcela con un arreglo y distanciamiento específico de 1.5 metros de cada uno, según el diagrama en la figura 07, y los plantones fueron distribuidos al azar por especie, donde se sembraron plantas tipo hierbas, arbustos y árboles, tanto pioneras como de sombra.

Al momento de la siembra, se les añadió 20 libras de compostaje a base de tierra negra con micorrizol a cada hoyo en el fondo y alrededor del sistema radicular en cada planta. Finalmente, las plantas fueron remojadas en la base con una solución de leonardita líquida e inmediatamente podadas eliminando la mayor cantidad de hojas maduras posible, para minimizar la pérdida de agua de la planta.

3.6. Registro de la Información y Análisis

La información registrada de crecimiento, mortalidad en las parcelas de restauración B-PRE-001 y la B-PRE-39, B-PRE-37 (ensayos con fertilizantes), la B-PRE-43 y regeneración natural (B-PRE-001 y la B-PRE-39), se ingresaron en la base de datos (Access Microsoft) para su posterior análisis.

También se realizaron pruebas de ANOVA y "t" de Student en los datos de los ensayos con fertilizantes en la parcela B-PRE-37, para determinar diferencias significativas entre los tratamientos y entre especies.

El análisis de la sobrevivencia y mortalidad de cada especie nos permite identificar especies que pueden ser más aptas para ser utilizadas en las etapas tempranas de la restauración, y si es necesario, aplicar técnicas adicionales para mejorar su desarrollo desde la etapa de germinación y mantenimiento de plantones en el vivero, y posteriormente en las parcelas de restauración.

Para la selección de plantones adecuados se tomaron tres criterios según Elliott, Blakesley y Hardwick, 2013:

Categoría 1: las plantas que quedaron por debajo de la mayoría o de todos los estándares mínimos aceptables fueron consideradas como especies no aceptables. Estas especies no se descartarán del proyecto de restauración, pero se les dará un seguimiento más riguroso para lograr mejorar su rendimiento en las parcelas de restauración.

Categoría 2: las plantas que excedieron algunos de los estándares mínimo aceptables, pero quedaron por debajo de otros, o quedaron por debajo de varios estándares por un margen pequeño, fueron consideradas como especies marginales. Estas especies se someterán a investigación para mejorar su rendimiento.

Categoría 3: Las plantas que excedieron en gran proporción a la mayoría de todos los estándares mínimos fueron consideradas como especies aceptables y, por ende; adecuadas para utilizar en futuras plantaciones.

Los estándares aceptables para las plantas fueron: tener una tasa de sobrevivencia de más del 50%, y que tanto la altura como el ancho de copa hayan excedido más del doble luego de 12 meses de haberse plantado.

4. RESULTADOS

4.1 Monitoreo en la parcela de restauración 2.5 (Código B-PRE-001)

Desde el año 2015 en que fue levantada la información sobre las plantas sembradas en esta parcela de restauración, hasta la fecha, se han realizado siete (7) monitoreos anuales. En cada monitoreo se ha registrado las plantas sembradas desde el año 2014 (año de establecimiento de esta parcela) y en el 2015 (año del levantamiento de la información del primer monitoreo de sobrevivencia), y posteriormente, aquellos individuos resembrados en el año 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021 y 2022 que reemplazaron aquellos individuos muertos de plantas sembradas en años anteriores. Además, se ha reportado las especies de regeneración natural (reclutas), que han surgido producto de la vegetación que rodea la parcela de restauración.

Cabe mencionar, que para este monitoreo fueron registrados 286 plantones nuevos de regeneración natural, producto de la germinación de semillas de *Inga* sp., de individuos sembrados anteriormente en el sitio, y también de otras especies del bosque que rodean a dicha parcela. Estos individuos (*Inga* sp.) que produjeron semillas; fueron plantados en la parcela desde el año 2015. También se registraron especies con presencia de flores y frutos de individuos de regeneración natural que fueron reclutados en la parcela en 2018, y 2019, así como también de individuos que fueron plantados en el 2015, y de aquellos resembrados en el 2017.

4.1.1. Análisis de sobrevivencia

En el monitoreo de este año se contabilizó la pérdida de 772 individuos, lo que corresponde al 39% de las plantas sembradas en la parcela. Pero, también se contabilizaron 286 individuos nuevos de regeneración natural (reclutas). Todas las plantas que se identifican que han muerto (aquellas que fueron sembradas desde el 2015), son reemplazadas por la misma especie, siempre que sea posible, y anotadas en la base de datos, para llevar un registro para su seguimiento el próximo monitoreo.

Actualmente, cuatro (4) parcelas: la parcela de restauración 2.5 (B-PRE-001), la parcela de restauración Pipeline Road del Km 19+700 (B-PRE-002), la parcela de MSA (P-PRE-009) y la parcela del Km 4+100 del Pipeline Road (B-PRE-40), están parceladas y bajo monitoreo anual.

Las especies que marcaron mayor cantidad de individuos muertos para este periodo fueron aquellas resembradas en el 2021 (ver figura 09). La mortalidad de plantones refleja las

condiciones propias del suelo arcilloso rojo presente en la parcela de restauración. El suelo arcilloso rojo se caracteriza por contener un pH ácido que dificulta la absorción de nutrientes a través de las raíces de las plantas.

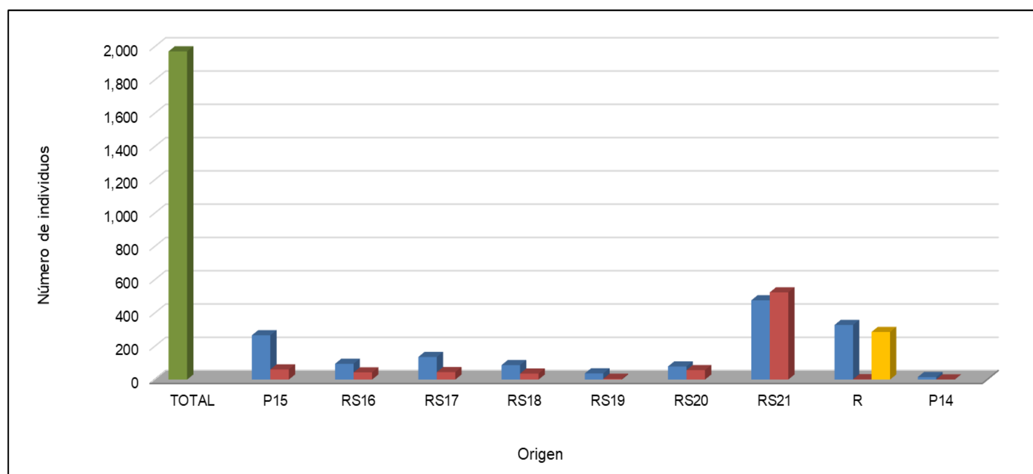


Figura 08. Número de individuos sobrevivientes contabilizados durante este periodo de monitoreo. En el gráfico se muestra el total de plantas contabilizadas en este periodo (barra verde) y la mortalidad de individuos (barras rojas). **P14**=plantas sembradas en 2014, **P15**=plantas sembradas en 2015, **RS16**=plantas resembradas en 2016, **RS17**=plantas resembradas en 2017, **RS18**=plantas resembradas en 2018, **RS19**=plantas resembradas en 2019, **RS20**=plantas sembradas en 2020, **RS21**=plantas resembradas en el 2021, **R**= regeneración natural. Nótese la barra amarilla, que corresponde a nuevas plantas de regeneración natural registradas para este periodo.

4.1.2. Sobrevivencia de especies de plantas resembradas en el año 2021

En la figura 9 se muestra el número de individuos sobrevivientes de 20 especies resembradas en el año 2021. La gráfica refleja sólo la sobrevivencia de estos individuos a partir del año 2021, ya que, a partir de ese año, fueron reemplazados individuos muertos provenientes de 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020 y 2021 con individuos de la misma especie.

Las especies que marcaron el mayor número de sobrevivencia durante este periodo fueron: *Senna reticulata, Drypetes standleyi* y *Vochysia guatemalensis* (ver tabla 02).

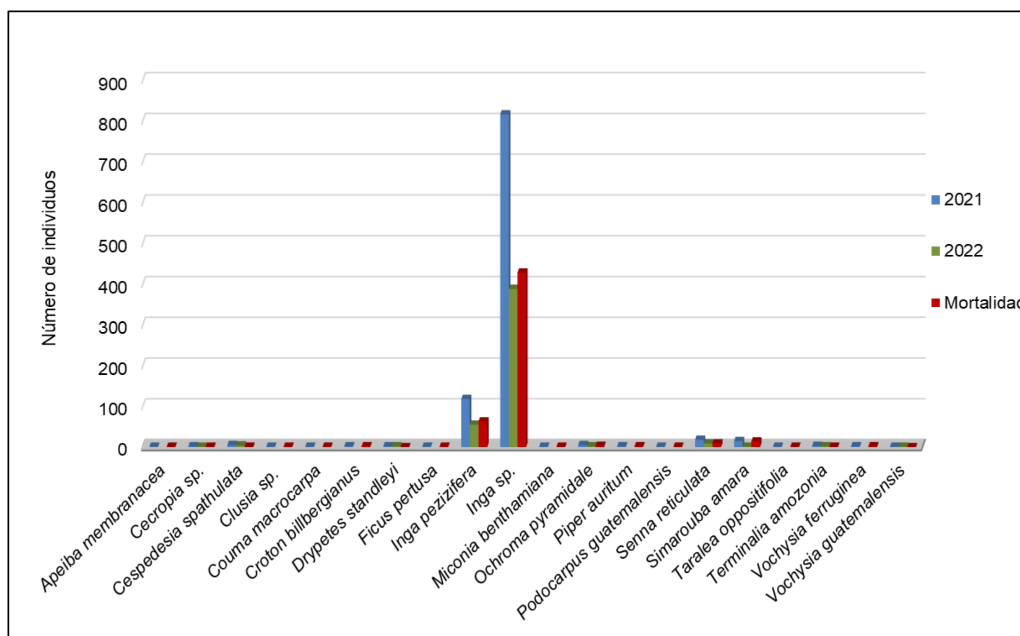


Figura 09. Sobrevivencia de especies resembradas en la parcela de restauración en el año 2021

4.1.3. Evaluación de especies nativas resembradas en el 2021 en la parcela de restauración 2.5; según Elliott, Blakesley y Hardwick, 2013.

El análisis de evaluación nos permite determinar el desempeño de una especie después de un año de ser plantadas en la parcela de restauración. La evaluación determinó que *Senna reticulata*, marcó un buen desempeño en la parcela (Tabla 02). Mientras que especies como: *Cecropia* sp., *Drypetes standleyi*, *Ochroma pyramidale*, entre otras, a pesar de marcar una alta tasa de sobrevivencia en la parcela, mostraron un bajo crecimiento. Por otra parte, la especie *Simarouba amara* no se encontró dentro de los estándares aceptables según el análisis de Elliott, Blakesley y Hardwick (2013). Sin embargo, estas especies son evaluadas rigurosamente en el vivero con el objetivo de mejorar su rendimiento en las parcelas. Esto se puede lograr aplicando técnicas como: a) mejorar las condiciones del sustrato; aumentando la frecuencia de adición de nutrientes, b) aumentar la frecuencia de la aplicación de nematicida y fungicida contra los patógenos; c) optimizar el pH del suelo tanto del que se prepara en el vivero como también del suelo en las parcelas (se logra con la aplicación de hidróxido de calcio), para facilitar la absorción de los nutrientes en las plantas; d) intensificar, tanto en el vivero como en la parcela, las técnicas de desarraigue de malezas (Elliott, Blakesley y Hardwick 2013), entre otras. También se debe seguir revisando fuentes de información sobre otras especies nativas

en el proyecto y recolectar semillas y plántulas de estas especies nativas que aún no han sido probadas, para las actividades de restauración de futuras parcelas.

Tabla 02. Evaluación anual de especies nativas resembradas en el 2021 en la parcela de restauración 2.5

Especie	Tipo	% Sobrevivencia	Altura promedio (cm)	Ancho de copa promedio (cm)	Categoría	Acción
Cecropia sp.	Pionera	50	21	19	2	Investigar para mejorar el crecimiento
Cespedesia spathulata	Sombra	80	23.2	22.8	2	Investigar para mejorar el crecimiento
Drypetes standleyi	Sombra	100	20.5	20.5	2	Investigar para mejorar el crecimiento
Inga pezizifera	Sombra	46.6	40.5	40.1	2	Investigar para mejorar el crecimiento
Inga sp.	Sombra	47.6	30.6	24	2	Investigar para mejorar la sobrevivencia
Ochroma pyramidale	Pionera	40	142	92	2	Investigar para mejorar el crecimiento
Senna reticulata	Pionera	50	61	28.9	3	Aceptable
Simarouba amara	Sombra	6.7	17	13	1	No aceptable
Vochysia guatemalensis	Sombra	100	23	20	2	Investigar para mejorar el crecimiento

4.2. Monitoreo en la parcela del Pipeline Road Km 4+100 (Código B-PRE-40)

Para este periodo (abril-septiembre 2022) se realizó un monitoreo semestral después del establecimiento de la parcela y el posterior levantamiento de la información de las plantas sembradas en 2021, en dos cuadrantes de 20x20 m. En esta parcela fueron sembrados plantones provenientes del vivero de Valle Grande, como también, plantas que fueron extraídas de la vegetación adyacente. Los resultados mostraron que las plantas que fueron sembradas

provenientes del vivero tuvieron mayor sobrevivencia que aquellas que fueron extraídas de la vegetación y sembradas directamente en la parcela (ver figura 10). Esto puede deberse a que los plantones provenientes del vivero poseen un sistema radicular bien desarrollado y compactado, adaptados a las condiciones extremas de la parcela. Las plantas extraídas de la vegetación suelen sufrir mayor estrés debido a que sus raíces, al ser extraídas la planta, donde están establecidas, tienden a perder rápidamente agua, de igual manera, los rebrotes no logran recibir el agua de las raíces (Elliott, Blakesley y Hardwick, 2013). Cabe mencionar, que también fue registradas plantas de regeneración natural, provenientes de la vegetación circundante.

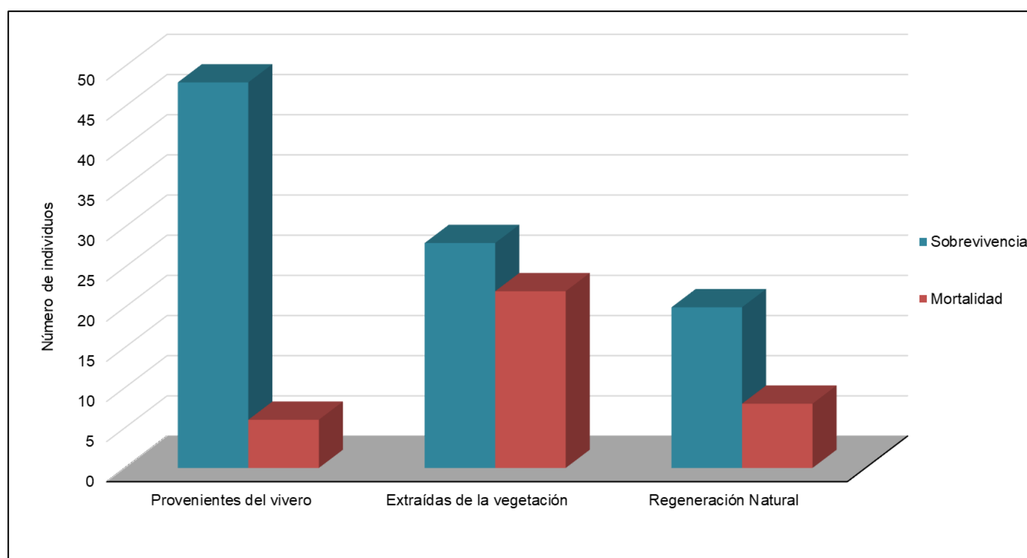


Figura 10. Número de individuos sobrevivientes contabilizados durante este periodo de monitoreo en la parcela Pipeline Road Km 4+100 (B-PRE-40)

4.3. Ensayos con fertilizantes en la parcela del Tajo Botija, Botadero Sur (B-PRE-37)

Para este periodo fueron realizados ensayos con 5 especies que fueron sometidas a 4 tratamientos con fertilizantes en la parcela B-PRE-37 del Botadero Sur del Tajo Botija. Los resultados mostrados en la figura 11 mostraron que hubo un efecto significativo en la sobrevivencia en las especies sembradas ($P<0.05$). Los plantones con mayor sobrevivencia fueron aquellos en los que se le aplicó fertilizantes en pastilla, leonardita y compostaje de tierra negra, siendo aquellos sembrados bajo el tratamiento con fertilizante en pastilla los que obtuvieron el 100% de sobrevivencia. La mortalidad en los plantones sembrados con compostaje de gallinaza, tal vez se debió a que el sustrato preparado para este ensayo contenía altas concentraciones de este compost. Las altas concentraciones de nitrógeno contenidas en la gallinaza suelen disolverse en la interfase líquida del suelo, entre los poros. La alta concentración de estos iones de nitrógeno tiende a acidificar extremadamente al suelo, lo

que impide que la planta pueda aprovechar los nutrientes y finalmente muere. Esto sugiere que se deban realizar nuevos ensayos utilizando compostajes preparados con proporciones menores de gallinaza a la utilizada para este ensayo.

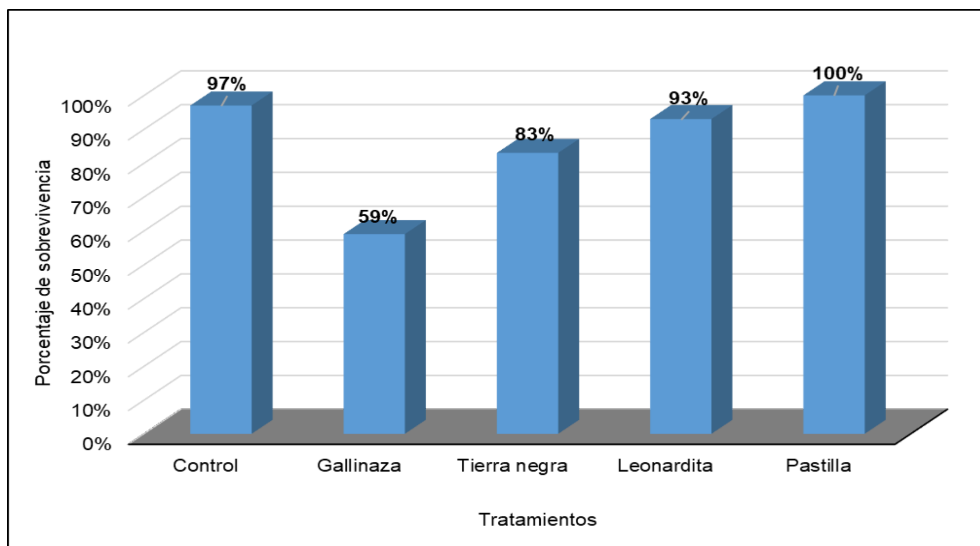


Figura 11. Sobrevivencia de plantones sembrados en diferentes tratamientos con fertilizantes

Cabe señalar que los tratamientos de fertilizantes no produjeron efecto en el crecimiento de cuatro (4) de las especies como son *Piper aduncum*, *Isertia laevis*, *Bellucia pentamera* e *Inga* sp. Sin embargo, para la especie *Muntijia calabura*, marcó un crecimiento significativo (P<0.05) en los cuatro tratamientos de fertilizante aplicados, siendo los individuos de esta especie los que mostraron la mayor altura promedio bajo el tratamiento con compostaje de gallinaza (ver figura 12).

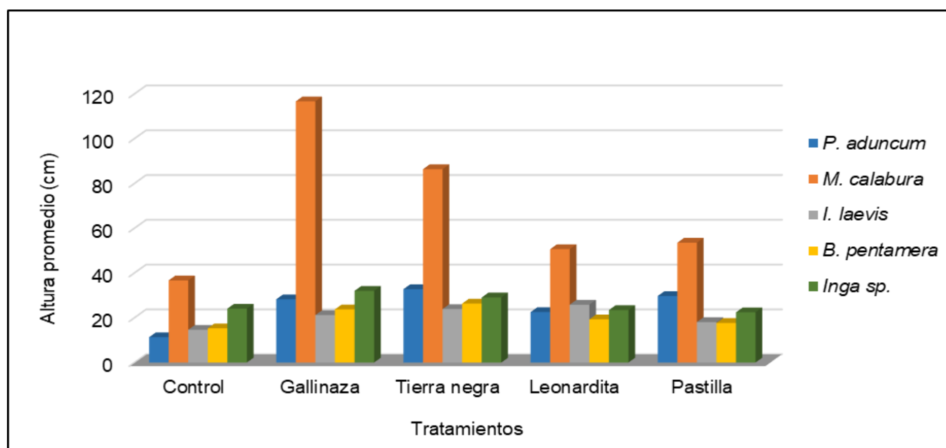


Figura 12. Altura promedio de cinco especies sembradas bajo la aplicación de cuatro fertilizantes

4.4. Restauración en la parcela del Tajo Botija, Botadero Sur (código B-PRE-43)

Se sembraron en total 343 individuos que provinieron de la vegetación circundante a la parcela. Estos individuos pertenecen a 32 especies repartidas en 22 familias, entre árboles, helechos, arbusto y hierbas. De las 32 especies sembradas, 15 son pioneras y 17 son de sombra (ver tabla 03).

Tabla 03. Plantas sembradas en la parcela B-PRE-43 provenientes de la vegetación circundante

Especie	Familia	Hábito	Tipo	Número de individuos sembrados
Bellucia pentamera	Melastomataceae	Árbol	Pionera	2
Casearia arborea	Salicaceae	Árbol	Pionera	4
Cecropia sp.	Cecropiaceae	Árbol	Pionera	37
Cespedesia spathulata	Araliaceae	Árbol	Sombra	6
Clidemia capitellata	Melastomataceae	Arbusto	Pionera	1
Cordia sp.	Boraginaceae	Árbol	Pionera	1
Costus sp.	Costaceae	Hierba	Sombra	2
Cyathea sp.	Cyatheaceae	Helecho arboreo	Sombra	28
Hedyosmum sp.	Chloranthaceae	Árbol	Sombra	2
Heliconia sp. 1	Heliconiaceae	Hierba	Sombra	3
Heliconia sp. 2	Heliconiaceae	Hierba	Sombra	2
Hirtella tubiflora	Chrysobalanaceae	Árbol	Sombra	2
Inga pezizifera	Fabaceae	Árbol	Sombra	1
Inga sp.	Fabaceae	Árbol	Sombra	14

Especie	Familia	Hábito	Tipo	Número de individuos sembrados
Isertia laevis	Rubiaceae	Árbol	Pionera	95
Marila sp.	Calophyllaceae	Árbol	Sombra	1
Miconia sp.	Melastomataceae	Árbol	Sombra	11
Desconocida	Myrsinaceae	Árbol	Sombra	1
Ochroma pyramidale	Malvaceae	Árbol	Pionera	4
Piper aduncum	Piperaceae	Arbusto	Pionera	5
Piper auritum	Piperaceae	Arbusto	Pionera	10
Piper sp.	Piperaceae	Arbusto	Pionera	4
Protium sp.	Burseraceae	Árbol	Sombra	1
Psychotria sp.	Rubiaceae	Árbol	Pionera	36
Siparuna cuspidata	Siparunaceae	Árbol	Sombra	1
Solanum sp.	Solanaceae	Arbusto	Pionera	3
Taralea oppositifolia	Fabaceae	Árbol	Sombra	1
Trema micrantha	Cannabaceae	Árbol	Pionera	20
Trichospermum galleotti	Malvaceae	Árbol	Pionera	1
Vismia macrophylla	Hypericaceae	Árbol	Pionera	15
Vochysia ferruginea	Vochysiaceae	Árbol	Sombra	14
Vochysia guatemalensis	Vochysiaceae	Árbol	Sombra	3

5. CONCLUSIONES

5.1. Para este periodo de monitoreo (abril - septiembre 2022) en la parcela de restauración 2.5 (B-PRE-001), se contabilizó una tasa de mortalidad del 39%, del total de las plantas sembradas. De igual manera, se registraron un total de 286 nuevos individuos de regeneración natural.

5.2. La especie *Senna reticulata* registró la mayor sobrevivencia en el monitoreo realizado en la parcela 2.5.

5.3. Para el mes de agosto, fue realizó el segundo monitoreo de plantas en la parcela del Pipeline Road del km 4+100 (B-PRE-40), y como resultado, los plantones que fueron sembrados provenientes del vivero, marcaron mayor sobrevivencia que aquellos sembrados provenientes de la vegetación circundante a la parcela.

5.4. Durante este periodo también se realizaron ensayos en la parcela del Tajo Botija del Botadero Sur (B-PRE-37), aplicando diferentes fertilizantes. Los resultados indicaron que los fertilizantes tuvieron efecto significativo en la sobrevivencia y crecimiento de los plantones, siendo los individuos de *Muntingia calabura* los que obtuvieron mayor altura promedio bajo los tratamientos con compostaje de gallinaza y tierra negra.

5.5. Fue restaurada una nueva área en el Tajo Botija, Botadero Sur (B-PRE-43), donde se realizó siembra directa de plantas que fueron extraídas de la vegetación circundante a la parcela. En total fueron sembradas 343 plantas de 32 especies. De estas especies; 15 son pioneras y 17 son de sombra.

6. BIBLIOGRAFÍA

CTF. 2018. Trees, Shrubs, and Palms of Panama. http://ctfs.si.edu/webatlas/maintreeatlas.php. Consultado en diciembre, 2018.

Elliott, S. D., D. Blakesley y K. Hardwick, 2013. Restauración de Bosques Tropicales: un manual práctico. Royal Botanic Gardens, Kew; 344 pp.

Gentry, A.H. 1993. A Fiel Guide to the Families and Genera of Woody Plants of Northwesdt South America (Colombia, Ecuador, Peru): With Supplementary Notes on Herbaceous Taxa. Chicago: The Univertiy of Chicago Press; 895 pp.

Guariguata, M. R. y R. Ostertag, 2002. Sucesión secundaria. En: Guariguata, M. R. y G. Kattán (Editores). Ecología y Conservación de Bosques Neotropicales. Cartago: Libro Universitario Regional; 691 pp.

Hammel, B.E.; Grayum, M.H.; Herrera, C. y N. Zamora. 2010. Manual de Plantas de Costa Rica. Volumen V: Dicotiledóneas (Clusiceae-Gunneraceae). St. Louis, Missouri: Botanical Garden Press; 970 pp.

Hammel, B.E.; Grayum, M.H.; Herrera, C. y N. Zamora. 2007. Manual de Plantas de Costa Rica. Volumen V: Dicotiledóneas (Haloragaceae-Phytolaccaceae). St. Louis, Missouri: Botanical Garden Press; 932 pp.

Nepstad, D. C., Uhl, C., C. A. Pereira y J. M. Cardoso da Silva, 1996. A Comparative study of tree establishment in abandoned pasture and mature forest of Eastern Amazonia. Oikos 76:25-39.

Pérez, R. 2008. Árboles de los Bosques del Canal de Panamá. Panamá: Boski S.A.; 466 pp.

SER 2004. Principios sobre SER International sobre la restauración ecológica SER (Society for Ecological Restoration International – Sociedad Internacional para la Restauración Ecológica). Grupo de trabajo sobre ciencia y políticas (Versión 2: octubre de 2004).

Flora Mesoamericana. 2018. http://www.tropicos.org/Project/FM. (Accesado en diciembre 2018).
Missouri Botanical Graden-Base de Datos MPSA. 2018. http://www.tropicos.org/Project/MPSA. (Accesado en diciembre 2018).

Warwood, N.C. 1999. Seedlings of Barro Colorado Island and the Neotropic. London: Cornell University Press; 645 pp.

Woodson, R.E. y R.W. Schery. 1980. Flora de Panamá. St. Louis, Missouri: Botanical Garden Press; 7396 pp.

7. ANEXOS

Anexo 7.1. Vivero de plantas nativas

7.1.1. Colecta de semillas y plántulas

Para la recolecta de material genético (plántulas y semillas), que se utilizan en el proceso de restauración ecológica, se realizaron giras de campo donde se extrajeron plántulas, semillas y muestras para la identificación taxonómica de árboles y arbustos de especies de sombra y de especies pioneras dentro del área del proyecto. Las especies fueron identificadas utilizando claves taxonómicas como la Flora de Costa Rica (Hammel et. al, 2010; 2007), Flora de Panamá (Woodson y Schery, 1980), Flora Mesoamericana (http://www.tropicos.org/Project/FM, 2020), y fueron corroboradas con la ayuda de la Base de Datos de Trópicos del Missouri Botanical Garden (http://www.tropicos.org/Project/MPSA, 2020), y del Centro de Ciencias de Bosques tropicales (CTFS, por sus siglas en inglés: http://ctfs.si.edu/webatlas/maintreeatlas.php, 2020), como también guías de campo (Gentry, 1993) y libros de texto (Warwood, 2009; Pérez, 2008), referentes a la flora nativa de Panamá, específicamente, del área de la Vertiente del Caribe.

a) Semillas: se utilizaron varas de colecta para poder alcanzar los frutos de árboles altos. Las mismas fueron separadas y guardadas en bolsas de papel con los datos de registro del árbol.

b) Plántulas: se colectaron dentro del bosque o áreas abiertas y se trasladaron al vivero para su posterior siembra. Esta es una alternativa viable para lograr la reproducción de algunas especies cuyas semillas son difíciles de colectar o germinar.

7.1.2. Producción y Manejo en el Vivero

Desde inicio del programa de restauración en el año 2014, se han producido en el vivero un total de 153,528 plántulas correspondiente a 112 especies, pertenecientes a 40 familias. Estas plantas fueron colectadas, tanto en semillas o como plántulas, en áreas abiertas (especies pioneras) como boscosas. Las instalaciones del vivero contienen cámaras con plástico de invernadero para aclimatar las plántulas que son traídas del bosque y aquellas provenientes de la germinación de semillas en las camas de arena. Las camas de arena para la germinación de semillas, fueron construidas utilizando como sustrato arena de río previamente esterilizada con la aplicación de nematicida y fungicida. Dependiendo de las especies, con semillas que requieren más cuidado al momento de germinar y de mayor tiempo de latencia, las semillas fueron sembradas utilizando sustrato orgánico proveniente del bosque y también con tierra negra y fibras de madera.

El suelo utilizado en el vivero para la siembra de plántulas que se extraen del campo y aquellas provenientes de la germinación de las semillas en las camas de germinación, comprende suelo de saprolita mesclado con cascarilla de arroz y tierra negra en una proporción de 2:1:1 (saprolita: cascarilla de arroz: tierra negra), luego es esterilizado con nematicida y fungicida; que se deja en reposo por una semana antes de ser utilizado para la siembra.

La finalidad de las cámaras de invernadero en el vivero es la de mantener la temperatura y humedad óptima, para incrementar el desarrollo y crecimiento radicular de los plantones y, además, para evitar el ataque de plagas. De esta forma se logra mejorar la calidad y resistencia de estas plantas al momento de ser sembradas en las parcelas de restauración. Dichas cámaras de invernadero también aceleran la velocidad de germinación de las semillas en las camas de germinación.

Las plantas fueron propagadas utilizando un sistema de raíz dirigida, basado en tubetes de varias dimensiones, los cuales favorecen el crecimiento de las raíces y aseguran la sobrevivencia de cada una de las plantas. También son utilizadas bolsas de siembra para aquellos plantones que son colectados de mayor tamaño.

Las plántulas provenientes de la germinación de las semillas en las camas de germinación, se sembraron en los tubetes que contenían sustrato con compostaje y permanecieron en áreas de sombra dentro del vivero por un tiempo aproximado de tres semanas, luego fueron pasadas al sol de forma paulatina, en donde permanecieron el tiempo requerido que les permitiera completar su aclimatación antes de ir a las parcelas. Las plantas que salgan al campo deben tener entre 25 y 50 cm de altura, con un alto nivel de desarrollo radicular, foliar y del tallo, que les permita resistir las condiciones ambientales existentes en las parcelas.

Las plantas fueron podadas cada cierto tiempo (2-4 semanas), tanto las que permanecen dentro del vivero como la que están expuestas al sol. La poda de las plántulas consiste en remover aquellas hojas secas y con presencia de patógenos (hongos, bacterias y virus), para evitar contaminar el resto de las plantas. Esta operación se realizó a primeras horas de la mañana, a media tarde o en días nublados; con el cuidado de evitarle a la planta un estrés a causa de la luz directa del día.

También son fertilizadas con fertilizante líquido biológico y fertilizante foliar, y fumigadas con insecticida y fungicida mensualmente.

7.1.3. Germinación de semillas

Las pruebas de germinación nos permiten responder preguntas básicas como cuántas semillas germinan (tasa de germinación) y cuánto tardan (latencia). Ambos parámetros se pueden usar e incluso manipular cuando se planifica el crecimiento de una cantidad suficiente de árboles jóvenes para un tiempo específico de plantación.

Para este periodo se pusieron a germinar semillas de la especie pionera *Ochroma pyramidale*. Estas semillas fueron puestas a germinar en las camas de germinación dentro del vivero con diferentes sustratos: arena de río, materia orgánica a base de fibra de madera y materia orgánica de bosque, y cubiertas con las respectivas cámaras de invernadero por aproximadamente dos semanas a tres meses, dependiendo de la especie. Las semillas para las pruebas de germinación fueron sometidas a tratamientos pregeminativos que consistió en someter en agua caliente (aprox. 70° C) durante 2 minutos antes de sembrarlas.

Tabla 7.1. Tiempo y porcentaje de germinación de especies nativas producidas en el vivero

Especie	Código de lote	Sustrato de germinación	Tiempo en germinar	Porcentaje de germinación
Ochroma pyramidale	Ochpyr_	Materia orgánica a base de fibra de madera y tierra negra	8 días	0.7%
Ochroma pyramidale	Ochpyr_	Arena de río	10 días	1.0%
Ochroma pyramidale	Ochpyr_	Arena de río	8 días	0.6%
Ochroma pyramidale	Ochpyr_	Capa orgánica de bosque	16 días	0.3%

Anexo 7.2. Registro Fotográfico

Actividades realizadas en parcela 2.5 (código B-PRE-001)



A. Limpieza de plantones con azadón. **B.** Apertura de hoyos con motoperforadora. **C.** Siembra de plantones con compostaje. **D.** Medida del diámetro de cuello de raíz toma de datos de la planta.

Actividades en la parcela Pipeline Road Km 4+100 (código B-PRE-40)



A. Limpieza de plantones. **B.** Siembra de plantones con compostaje. **C.** Monitoreo de plantones (toma de medida de ancho de copa). **D.** Toma de información de plantas en el monitoreo.

Ensayos con fertilizantes en la parcela del Tajo Botija, Botadero Sur B-PRE-37



A. Marcación de cuadrantes para la realización de ensayos. **B.** Siembra de plantones. **C.** Aplicación de fertilizante en pastilla en la base del plantón (flecha amarilla) **D.** Toma de la información de plantones.

Actividades de siembra directa de plantas extraídas de la vegetación aledaña a la parcela del Tajo Botija, Botadero Sur B-PRE-43



A. Limpieza con azadón. **B.** Colecta de plantas de la vegetación aledaña para la siembra en la parcela. **C.** Siembra de plantas con compostaje. **D.** Monitoreo de plantas.

Actividades en el vivero de Valle Grande



A. Siembra de semillas en camas de germinación. **B.** Cernido de suelo. **C.** Preparación de compostaje.

Localización de áreas restauradas



Parcela 2.5 (B-PRE-001)



Parcela Km 19 Pipeline Road (B-PRE-002)



Parcela Km 18. Costal Road (B-PRE-003)



Parcela Km 17 Costal Road (B-PRE-004)



Parcela Km 12 Coastal Road (B-PRE-005)



Parcelas del Tajo Colina (B-PRE-36, B-PRE-37 y B-PRE-38)